

Bài báo khoa học

Phân tích biến đổi địa hình đáy biển ven bờ khu vực cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên sử dụng ảnh Sentinel-2

Đỗ Xuân Tình^{1*}, Trần Thanh Tùng², Trần Đăng Hùng³

¹ Viện Đào tạo và Khoa học ứng dụng miền Trung; tinhdx@tlu.edu.vn

² Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi; t.t.tung@tlu.edu.vn

³ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; danghung2261991@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tinhdx@tlu.edu.vn; Tel.: +84–982124650

Ban Biên tập nhận bài: 10/11/2023; Ngày phản biện xong: 25/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Theo dõi, giám sát biến đổi địa hình đáy biển ven bờ vùng cửa sông là bước quan trọng giúp phân tích, đánh giá quy luật biến đổi hình thái vùng cửa sông. Khảo sát địa hình đáy biển bằng phương pháp truyền thống sử dụng kỹ thuật đo sâu hồi âm thường có chi phí cao và tốn thời gian. Ảnh viễn thám đa phổ với lợi thế về chi phí và tầm bao phủ rộng đã được sử dụng khá phổ biến trong thời gian gần đây để ước tính độ sâu ở vùng ven bờ do nguồn dữ liệu ảnh viễn thám ngày càng phong phú và có độ phân giải tốt. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng ảnh vệ tinh đa phổ Sentinel-2 và dữ liệu khảo sát địa hình đáy biển tháng 6/2019 để xây dựng phương trình tương quan ước tính độ sâu cho khu vực cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên. Phương trình tương quan có độ chính xác khá tốt (hệ số tương quan $R^2 = 0,7$) đã được sử dụng để giải đoán địa hình đáy biển ven bờ cửa Tiên Châu trong giai đoạn từ 2016 đến 2022. Các kết quả phân tích diễn biến của doi cát và cồn ngầm ở khu vực cửa Tiên Châu trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc và gió mùa Tây Nam, từ 2016 đến 2022 sẽ là cơ sở phục vụ đề xuất các giải pháp chính trị cửa Tiên Châu trong tương lai.

Từ khóa: Cửa Tiên Châu; Đáy biển ven bờ; Diễn biến hình thái; Ảnh vệ tinh đa phổ; Sentinel-2.

1. Mở đầu

Khả năng theo dõi và xác định độ sâu đáy biển vùng ven bờ một cách đáng tin cậy theo thời gian là rất quan trọng đối với nhiều ứng dụng bao gồm quản lý và phát triển vùng ven biển, giám sát và giảm thiểu rủi ro ven biển, nghiên cứu khoa học ven biển, cùng nhiều ứng dụng khác [1, 2]. Các phép đo độ sâu tại chỗ truyền thống bằng hồi âm và đo khoảng cách ánh sáng (LiDAR) rất tốn thời gian và có chi phí cao [3].

Gần đây, các công cụ viễn thám gần đã được sử dụng khá phổ biến để thu thập các loại dữ liệu khác nhau cho phép giám sát các khu vực ven biển [4, 5]. Những công cụ này khác nhau về tần số thời gian và phạm vi không gian. Máy quay video đặt trên bờ hoặc gắn trên máy bay không người lái thường xuyên cung cấp hình ảnh có độ phân giải cao tuy nhiên phạm vi phủ sóng hạn chế về mặt không gian [6–8]. Mặt khác, các vệ tinh như chòm vệ tinh Sentinel-2 của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA) cung cấp hình ảnh có độ phân giải trung bình (10 m) với phạm vi phủ sóng toàn cầu với độ phân giải thời gian tương đối cao (5 ngày một lần với Sentinel-2) [9, 10]. Những sản phẩm vệ tinh viễn thám này đã được chứng minh là nguồn tài nguyên quý giá trong nhiều nghiên cứu và ứng dụng khoa học ven biển. Ví dụ, có rất nhiều nghiên cứu về việc sử dụng dữ liệu màu đại dương để định lượng các thông số chất lượng nước [11–13]. Các phương pháp sử dụng hình ảnh vệ tinh để ước tính độ sâu của

nước có thể được chia thành hai loại dựa trên hiện tượng mục tiêu được nghiên cứu. Cụ thể là ảnh hưởng của phép đo độ sâu đến sự truyền và phân tán sóng bề mặt (động học sóng), cũng như mối quan hệ giữa độ sâu của nước với sự xuyên thấu và phản xạ ánh sáng trong nước (màu nước). Các phương pháp dựa trên sự truyền bức xạ của ánh sáng trong nước dưới dạng hàm của độ sâu và bước sóng (tức là các phương pháp dựa trên màu sắc) có thể được sử dụng để ước tính độ sâu ở vùng nước nông về mặt quang học [14–19]. Các phương pháp như vậy rất nhạy cảm với các đặc tính quang học của nước biển và thường được giới hạn ở vùng nước trong và không đục [20]. Các phương pháp khác dựa trên động học sóng trích xuất các đặc điểm sóng từ ảnh vệ tinh như độ lệch pha sóng và số sóng để ước tính độ sâu bằng cách sử dụng hệ thức phân tán tuyến tính [21]. Cả hai phương pháp đều mang lại những lợi ích khác nhau. Các phương pháp dựa trên sự truyền bức xạ của ánh sáng trong nước sẽ chính xác hơn ở vùng nước nông (độ sâu lên tới 15 m) và có thể phát hiện các đặc điểm đo độ sâu ở quy mô nhỏ hơn, với sai số tuyệt đối là 10-20% giá trị mục tiêu, và RMSE trung bình là 1,5 m [22–24]. Mặt khác, các phương pháp tiếp cận dựa trên động học sóng được điều chỉnh trước dựa trên khả năng quan sát được các mẫu sóng trong hình ảnh đầu vào, tuy nhiên, phạm vi độ sâu có thể phát hiện của chúng lớn hơn đáng kể so với phạm vi thông thường của các phương pháp dựa trên màu sắc [17] nhưng có độ chính xác kém hơn khi áp dụng. Trên toàn cầu (RMSE trong khoảng 6-9 m [17]). Nhiệm vụ xây dựng hàm ước lượng độ sâu áp dụng cho dữ liệu vệ tinh là không hề đơn giản và vẫn là một chủ đề nghiên cứu đang được tiến hành do tiềm năng to lớn mà nó mang lại trong việc giám sát hình thái động lực học ven biển ở quy mô lớn với chi phí thấp.

Tại Việt Nam, những nghiên cứu về ứng dụng viễn thám trong giải đoán địa hình đáy biển còn khá mới mẻ, gần đây có nghiên cứu [25] ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel 2 trong giải đoán địa hình đáy biển của Nhật Lệ, Quảng Bình. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình tương quan giữa dữ liệu độ sâu đo thực tế và chỉ số độ sâu $y = 63,102x - 53,898$ có hệ số tương quan $RMSE = 0,75$ cho cửa Nhật Lệ.

Trong những năm gần đây, hiện tượng bồi lấp tại cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên đã đang gây ảnh hưởng lớn tới phát triển kinh tế xã hội trong khu vực. Nhằm phân tích, xác định được quy luật, diễn biến bồi cát và cồn ngầm để từ đó đưa ra được các giải pháp chỉnh trị ở cửa Tiên Châu trong tương lai cho các nhà quản lý, tác giả đã lựa chọn đây là khu vực nghiên cứu. Trong nghiên cứu này tác giả dựa trên sự truyền bức xạ của ánh sáng trong nước để ước tính độ sâu cho khu vực cửa Tiên Châu tỉnh Phú Yên do đặc trưng khu vực này là vùng nước nông, có độ đục nhỏ.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu thu thập

2.1. Phạm vi và không gian nghiên cứu

Vùng nghiên cứu là cửa Tiên Châu, cửa của sông Kỳ Lộ đổ ra biển tại xã An Ninh Đông, huyện Tuy An, tỉnh Phú Yên, có tọa độ địa lý: 13,36°N; 109,26°E. Phía Bắc tiếp giáp vịnh Xuân Đài, phía Nam tiếp giáp xã An Ninh Đông, phía Tây là sông Kỳ Lộ và Quốc lộ 1A, phía Đông tiếp giáp với Biển Đông và núi Ông Ngõn. Trước cửa có doi cát chắn ngang chạy dài từ Bắc xuống Nam đến sát chân núi Ông Ngõn. Phía ngoài doi cát có cồn ngầm Ba Dạt, là nơi có địa hình đáy biển nông, hàng năm thường xuất hiện dải cát trôi trên mặt nước từ đuôi doi cát kéo dài ra Biển. Cảng cá Tiên Châu và khu neo đậu tàu thuyền lạch Vạn Cui nằm trong cửa Tiên Châu, hàng ngày có hàng trăm tàu thuyền công suất lên đến 800 CV qua lại khu vực cửa biển này. Vì thế, khu vực cửa Tiên Châu và vịnh Xuân Đài là nguồn lợi lớn cho huyện Tuy An và thị xã Sông Cầu nhờ vào các hoạt động đánh bắt, nuôi trồng thủy hải sản và du lịch. Những năm trở lại đây, cửa Tiên Châu xảy ra hiện tượng bồi lấp, chiều rộng cửa bị thu hẹp một cách đáng kể, có thời điểm cửa sông thu hẹp chỉ còn rộng khoảng 20-30 m, với độ sâu nước 1,5-2,5 m, gây ảnh hưởng lớn tới các hoạt động đánh bắt cá, ra vào tàu thuyền và tránh bão.

2.2. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.2.1. Số liệu độ sâu đáy biển thực đo

Kế thừa số liệu của đề tài độc lập cấp quốc gia “Nghiên cứu các giải pháp chính trị chống sa bồi luồng tàu cho các cảng cá và khu neo đậu tàu thuyền tỉnh Phú Yên và vùng lân cận, áp dụng cho cửa Tiên Châu” nghiên cứu đã tiến hành thu thập các số liệu thực đo vào tháng 6/2019 theo như hình 1 để phục vụ xây dựng phương trình tương quan phân bố độ sâu của khu vực. Nghiên cứu chỉ lựa chọn các điểm khảo sát ngoài cửa biển, các điểm trong trong sông hoặc vùng cửa sông sẽ không được lựa chọn do ở đó có độ đục cao làm ảnh hưởng tới kết quả mô phỏng tính toán.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và các điểm khảo sát địa hình đáy biển tháng 6/2019.

2.2.2. Số liệu ảnh vệ tinh

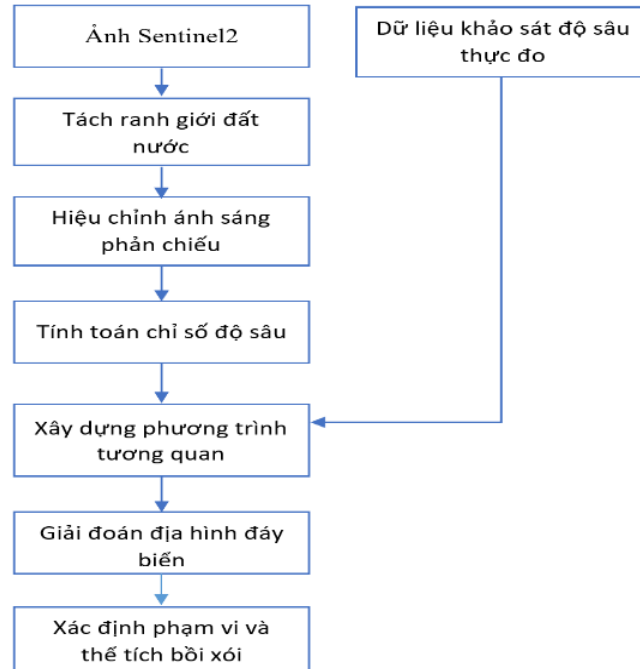
Để phục vụ đánh giá biến động địa hình đáy cho khu vực cửa Tiên Châu giai đoạn 2016-2021 với mỗi năm, trong mỗi mùa gió Tây Nam (tháng 4 đến tháng 8), Đông Bắc (tháng 9 đến tháng 3) nhóm tiến hành lựa chọn và thu thập 1 cảnh ảnh với độ che phủ mây là thấp nhất. Kết quả thu thập cho các cảnh ảnh Sentinel 2 được thống kê chi tiết ở bảng 1. Lí do lựa chọn ảnh Sentinel 2 để nghiên cứu do hiện nay đây là nguồn ảnh miễn phí có độ phân giải không gian (10 m) và thời gian tốt nhất (5 ngày) trong các nguồn ảnh quang học.

Bảng 1. Tổng hợp ảnh thu thập để đánh giá địa hình đáy khu vực Cửa Tiên Châu.

TT	Thời gian chụp	Loại ảnh	Độ phân giải	TT	Thời gian chụp	Loại ảnh	Độ phân giải
1	13/04/2016	Sentinel 2	10m	8	17/07/2019	Sentinel 2	10m
2	31/08/2016	Sentinel 2	10m	9	13/03/2020	Sentinel 2	10m
3	09/03/2017	Sentinel 2	10m	10	24/09/2020	Sentinel 2	10m
4	10/10/2017	Sentinel 2	10m	11	11/02/2021	Sentinel 2	10m
5	04/03/2018	Sentinel 2	10m	12	26/06/2021	Sentinel 2	10m
6	25/09/2018	Sentinel 2	10m	13	12/01/2022	Sentinel 2	10m
7	04/03/2019	Sentinel 2	10m				

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Hình 3 trình bày quy trình giải đoán địa hình đáy biển ven bờ bằng ảnh vệ tinh dựa trên ảnh Sentinel 2. Bài báo tập trung tiến hành xây dựng phương trình tương quan mô phỏng lại diễn biến địa hình đáy biển dựa trên dữ liệu đo thực địa và ảnh vệ tinh vào ngày 2/6/2019, sau đó sẽ tiến hành áp dụng mô hình toán đó cho các thời điểm còn lại.



Hình 2. Quy trình giải đoán địa hình đáy biển ven bờ bằng ảnh vệ tinh.

a) Tách đất và nước

Để tách được đất với nước, sử dụng chỉ số NDWI (*Normal Difference Water Index*) với công thức:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (1)$$

b) Hiệu chỉnh tác động của ánh sáng phản chiếu (*Sun-glint Correction*)

Nghiên cứu áp dụng phương pháp hiệu chỉnh [26] mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa NIR với các kênh khả kiến dựa trên phương trình hồi quy của các pixels ảnh.

$$R'_i = R_i - b_i (RNIR - MinNIR) \quad (2)$$

c) Tính toán chỉ số về độ sâu (*Empirical Bathymetry*)

Nghiên cứu sẽ ứng dụng công thức được xây dựng bởi Stumpf (2003) [27] dựa trên nguyên lý mỗi kênh phổ sẽ có mức hấp thụ đối với nước khác nhau. Tỷ số này thay đổi khi độ sâu thực tế thay đổi.

Công thức ước tính độ sâu thực tế theo Stumpf:

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (3)$$

d) Xây dựng phương trình tương quan giữa chỉ số độ sâu và dữ liệu đo đạc

Sau khi tính toán được chỉ số về độ sâu tiến hành xây dựng phương trình tương quan giữa giá trị chỉ số độ sâu và độ sâu thực đo để ước tính giá trị địa hình đáy biển. Ứng dụng phương trình này để tính toán địa hình đáy biển cho vịnh cửa Tiên Châu các thời điểm khác nhau.

e) Xác định phạm vi và thể tích bồi xói










Xác định phạm vi và thể tích bồi xói giữa 2 giai đoạn bằng cách chồng chập 2 bình đồ địa hình đáy biển giải đoán từ ảnh vệ tinh của giai đoạn sau lên giai đoạn trước. Ở đây cần thiết phải đảm bảo 2 bình đồ ảnh (raster) phải cùng 1 phạm vi và độ phân giải để tính toán chính xác tới từng pixel của ảnh.

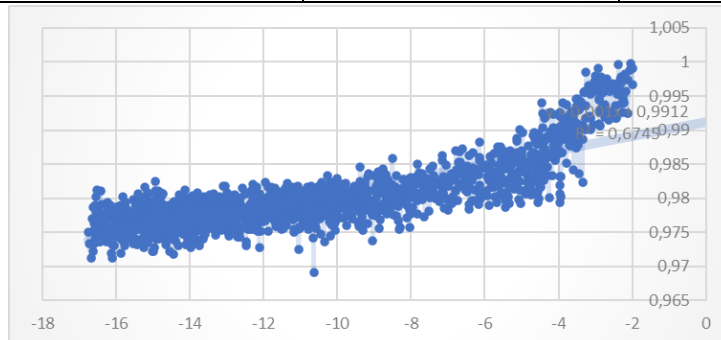
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả giải đoán địa hình đáy biển ven bờ và tính toán thể tích bồi/xói

Một vài kết quả tiền xử lý, hiệu chỉnh ánh sáng phản chiếu cho các ảnh được thu thập được thống kê tại Bảng 2. Dựa vào chỉ số độ sâu cho cảnh ảnh ngày 02/06/2019 với số liệu độ sâu thực đo vào tháng 6 năm 2019 ta thu được phương trình tương quan khá tốt với giá trị $R^2 = 0,7$. Phương trình này sẽ được ứng dụng tính toán cho các cảnh ảnh còn lại.

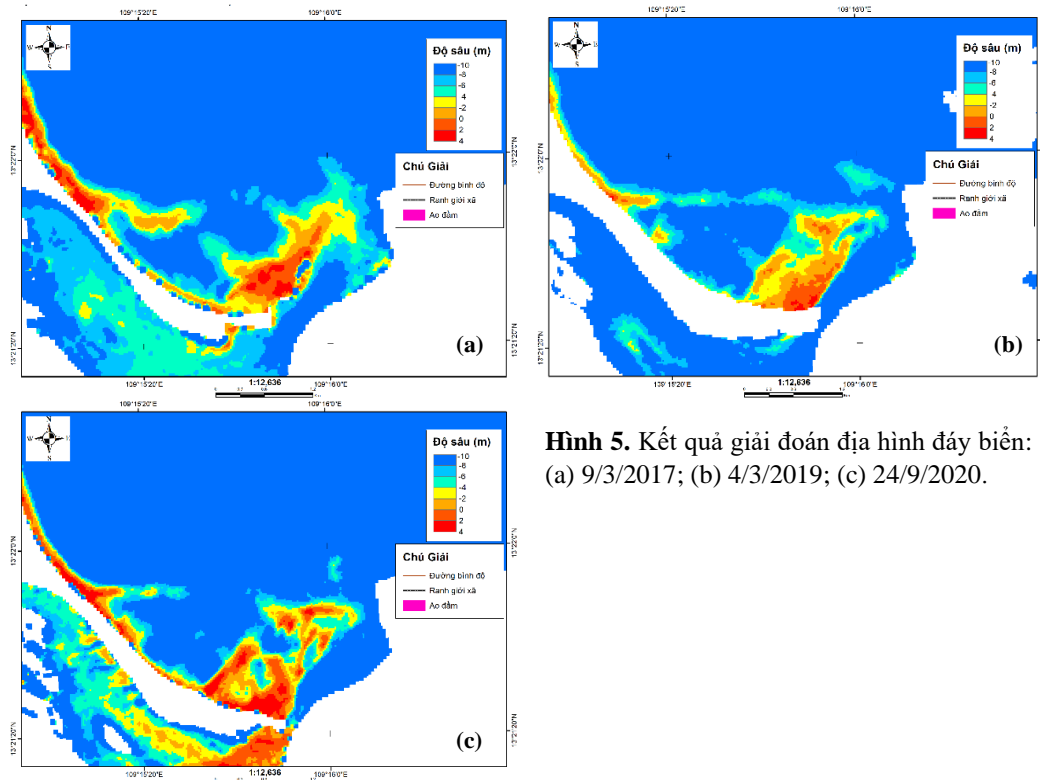
Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh ánh sáng phản chiếu, tính toán chỉ số độ sâu.

Cảnh ảnh	Ảnh gốc	Sau hiệu chỉnh	Chỉ số độ sâu
09/03/2017			
04/03/2019			
24/09/2020			



Hình 4. Phương trình tương quan giữa độ sâu thực đo và chỉ số độ sâu cho khu vực cửa Tiên Châu.

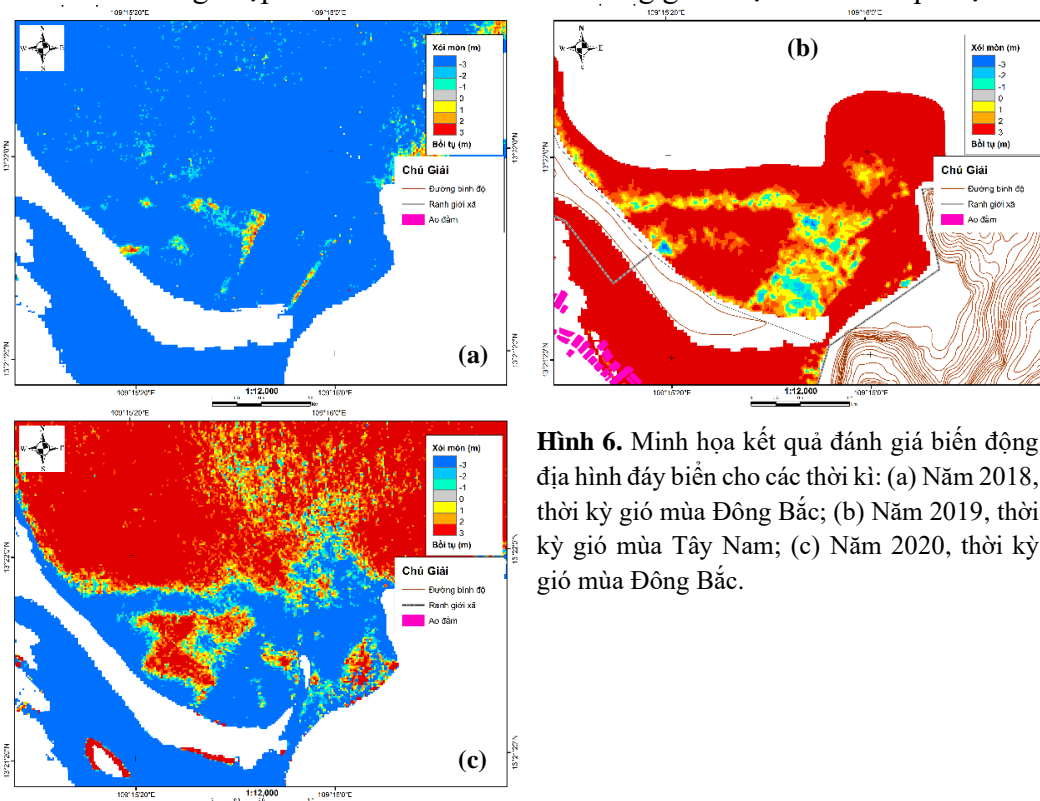
Sử dụng phương trình tương quan thu được $y = 652,76x - 650,43$ ta giải đoán được địa hình đáy biển ven bờ cho các cảnh ảnh còn lại, một vài kết quả tổng hợp được thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Kết quả giải đoán địa hình đáy biển: (a) 9/3/2017; (b) 4/3/2019; (c) 24/9/2020.

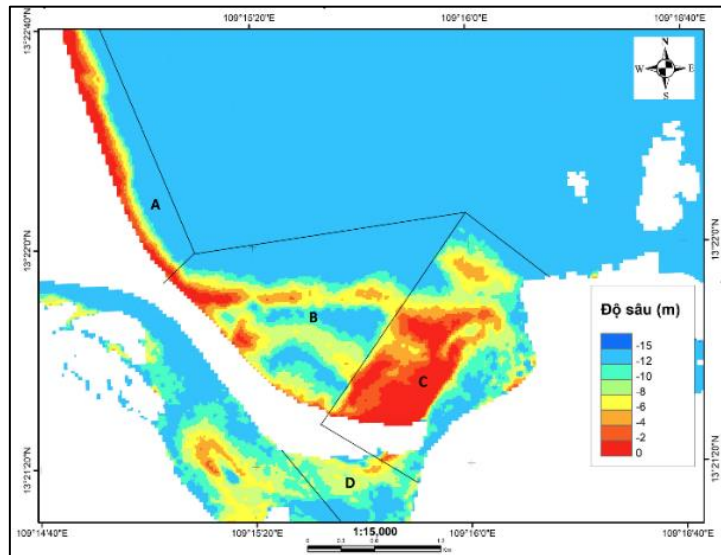
3.2. Đánh giá biến động địa hình đáy biển ven bờ theo mùa

Tiến hành chồng chập và tính toán bồi xói cho từng giai đoạn ta có kết quả tại Hình 6.



Hình 6. Minh họa kết quả đánh giá biến động địa hình đáy biển cho các thời kì: (a) Năm 2018, thời kỳ gió mùa Đông Bắc; (b) Năm 2019, thời kỳ gió mùa Tây Nam; (c) Năm 2020, thời kỳ gió mùa Đông Bắc.

Căn cứ vào đặc điểm hình thái, yếu tố tác động và diễn biến của các cồn ngầm trong thời kỳ nhiều năm, nghiên cứu chia khu vực nghiên cứu thành 04 vùng (hình 7).



Hình 7. Phân vùng biến động cửa Tiên Châu.

Trong đó:

Vùng A: Nằm ở trên cùng phía Bắc. Vùng này đặc trưng cho vùng ven biển trong vịnh Xuân Đài, ở phía Bắc cửa Tiên Châu. Biến động vùng này hoàn toàn chỉ chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực biển mà không bị ảnh hưởng bởi yếu tố động lực sông, đồng thời cũng cơ bản không chịu ảnh hưởng bởi mỏm núi Ông Ngõn (phía Đông Nam cửa Tiên Châu).

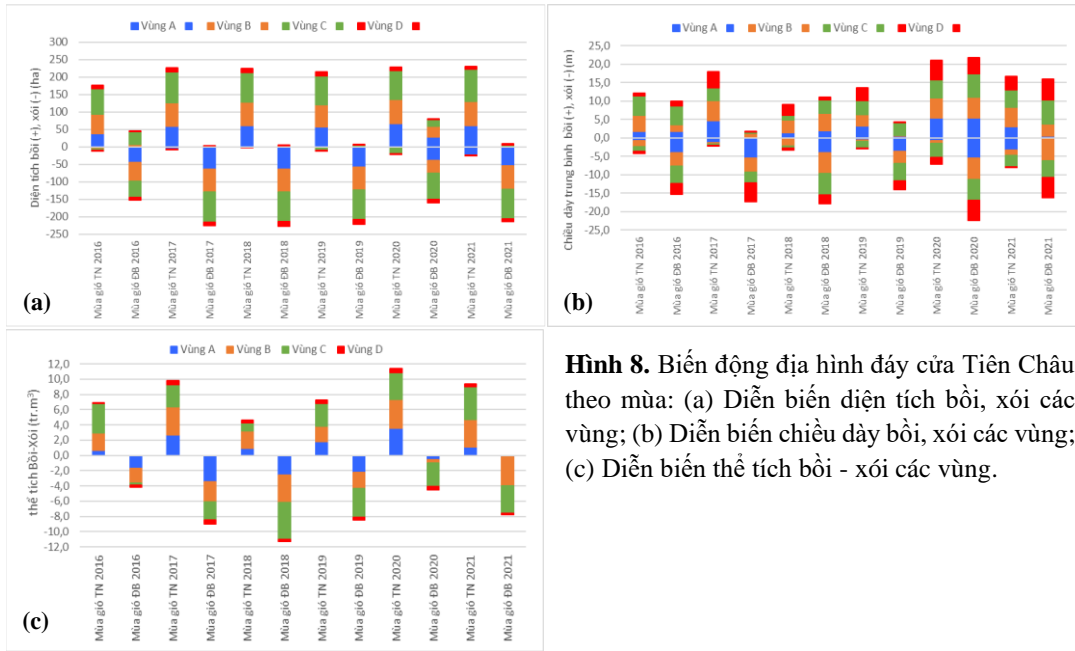
Vùng B: Tiếp theo vùng A về phía Nam. Vùng này là vùng đệm chuyển tiếp bùn cát giữa bãi biển phía bắc với cồn ngầm Ba Dạt nằm ở phía Bắc cửa Tiên Châu. Vùng này đặc trưng cho hệ thống cồn ngầm liên tục biến đổi bởi các yếu tố động lực sóng và được che chắn 1 phần bởi mũi đá Ông Ngõn. Biến động vùng này cơ bản chỉ chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực biển mà ít bị ảnh hưởng bởi yếu tố động lực sông.

Vùng C: Tiếp theo vùng B về phía Nam. Vùng này bao gồm 1 cồn ngầm dạng bãi triều (tên địa phương là cồn Ba Dạt) nằm ở phía Nam và cửa sông Kỳ Lộ ra tới mũi đá Ông Ngõn. Vùng này đặc trưng cho vùng cửa biển nằm trong vịnh nửa hở, chịu sự tác động đồng thời bởi cả các yếu tố động lực biển và các yếu tố động lực sông.

Vùng D: Tiếp theo vùng C về phía trong sông. Vùng này nơi sông Kỳ Lộ đổ ra biển. Vùng này đặc trưng cho vùng cửa trong sông, tiếp giáp với biển. Biến động vùng này hoàn toàn chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực sông và tác động của dòng triều, ít chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực biển do đã được che chắn bởi cồn ngầm Ba Dạt và mũi đá Ông Ngõn.

Bảng 3. Biến động địa hình đáy cửa Tiên Châu theo mùa.

Mùa	Lượng bùn cát bồi, xói (triệu m ³)							
	Vùng A		Vùng B		Vùng C		Vùng D	
	W _{bồi}	W _{xói}	W _{bồi}	W _{xói}	W _{bồi}	W _{xói}	W _{bồi}	W _{xói}
Mùa gió TN 2016	0,68	0,00	2,36	-0,10	3,89	-0,05	0,08	0,00
Mùa gió ĐB 2016	0,05	-1,80	0,09	-1,99	1,81	-2,11	0,03	-0,24
Mùa gió TN 2017	2,77	-0,07	3,65	0,00	2,97	0,00	0,52	0,00
Mùa gió ĐB 2017	0,00	-3,49	0,01	-2,61	0,00	-2,36	0,00	-0,56
Mùa gió TN 2018	0,90	0,00	2,28	0,00	1,10	0,00	0,33	0,00
Mùa gió ĐB 2018	0,02	-2,61	0,06	-3,62	0,07	-4,92	0,00	-0,30
Mùa gió TN 2019	1,79	-0,01	2,03	-0,01	3,11	-0,11	0,41	0,00
Mùa gió ĐB 2019	0,00	-2,21	0,00	-2,12	0,17	-4,00	0,00	-0,30
Mùa gió TN 2020	3,58	-0,02	3,81	-0,01	4,09	-0,55	0,52	-0,04
Mùa gió ĐB 2020	1,52	-2,11	1,77	-2,21	1,22	-4,22	0,02	-0,51
Mùa gió TN 2021	1,92	-0,80	3,57	0,00	4,37	0,00	0,29	0,00
Mùa gió ĐB 2021	0,00	-0,25	0,03	-3,82	0,27	-3,87	0,27	-0,40



Hình 8. Biến động địa hình đáy cửa Tiên Châu theo mùa: (a) Diễn biến diện tích bồi, xói các vùng; (b) Diễn biến chiều dày bồi, xói các vùng; (c) Diễn biến thể tích bồi - xói các vùng.

Từ phân vùng biến động cửa Tiên Châu nêu trên và bản đồ giải đoán biến động địa hình đáy biển, xác định được diện tích và thể tích biến động địa hình đáy cửa từng vùng ở Bảng 3 và vẽ được biểu đồ Hình 8, từ đó có những đánh giá sau.

- Diễn biến diện tích bồi, xói các vùng cho thấy: Vùng C (cồn Ba Dạt) có diện tích bồi, xói lớn nhất, tiếp theo là các vùng B (vùng chuyển tiếp từ bãi biển tới cồn Ba Dạt), vùng A và vùng D (bên trong cửa sông) có diện tích bồi, xói nhỏ nhất.

- Diễn biến chiều dày trung bình bồi, xói các vùng cho thấy: Chiều dày bồi trung bình giữa các vùng là khá tương đồng. Vùng A là chiều dày nằm trong khoảng $-5,6m \div +5,5m$; vùng B có chiều dày bồi/xói nằm trong khoảng $-5,8m \div +5,6m$, trung bình năm khoảng $+0,4m$. Vùng C là chiều dày bồi/xói nằm trong khoảng $-5,7m \div +6,5m$, trung bình năm khoảng $+0,4m$ và vùng D có chiều dày nằm trong khoảng $-5,5m \div +5,5m$, trung bình năm là $+0,2m$.

- Diễn biến thể tích bồi - xói các vùng cho thấy: Vùng C có thể tích biến động bồi - xói lớn nhất, giá trị nằm trong khoảng $-4,9 \div 4,4 \text{ tr.m}^3$. Tiếp theo là Vùng B có thể tích biến động bồi - xói lớn thứ hai, giá trị nằm trong khoảng $-3,8 \div 3,8 \text{ tr.m}^3$. Tiếp theo là Vùng A có thể tích biến động bồi - xói lớn thứ ba, giá trị nằm trong khoảng $-3,5 \div 3,6 \text{ tr.m}^3$. Cuối cùng là Vùng D có thể tích biến động bồi - xói nhỏ nhất, chỉ khoảng $-0,6 \div 0,5 \text{ tr.m}^3$.

Biến động thể tích bồi - xói trung bình năm của vùng B và vùng C, thời kỳ từ 2016 tới 2022 đều có giá trị dương, cho thấy vùng B và C luôn được bồi tụ theo thời gian. Trong đó vùng C đóng vai trò là nơi tích tụ, lưu trữ và phân phối bùn cát cho toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu, còn vùng B là nơi chuyển tiếp bùn cát từ cồn Ba Dạt (vùng C) tới bãi biển phía bắc (vùng A) và ngược lại. So với vùng B và C, biến động bồi xói trung bình năm của vùng A và D không lớn. Điều này cho thấy diễn biến bồi xói trung bình năm ở 2 vùng này là khá cân bằng.

Diễn biến bồi/xói của toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu:

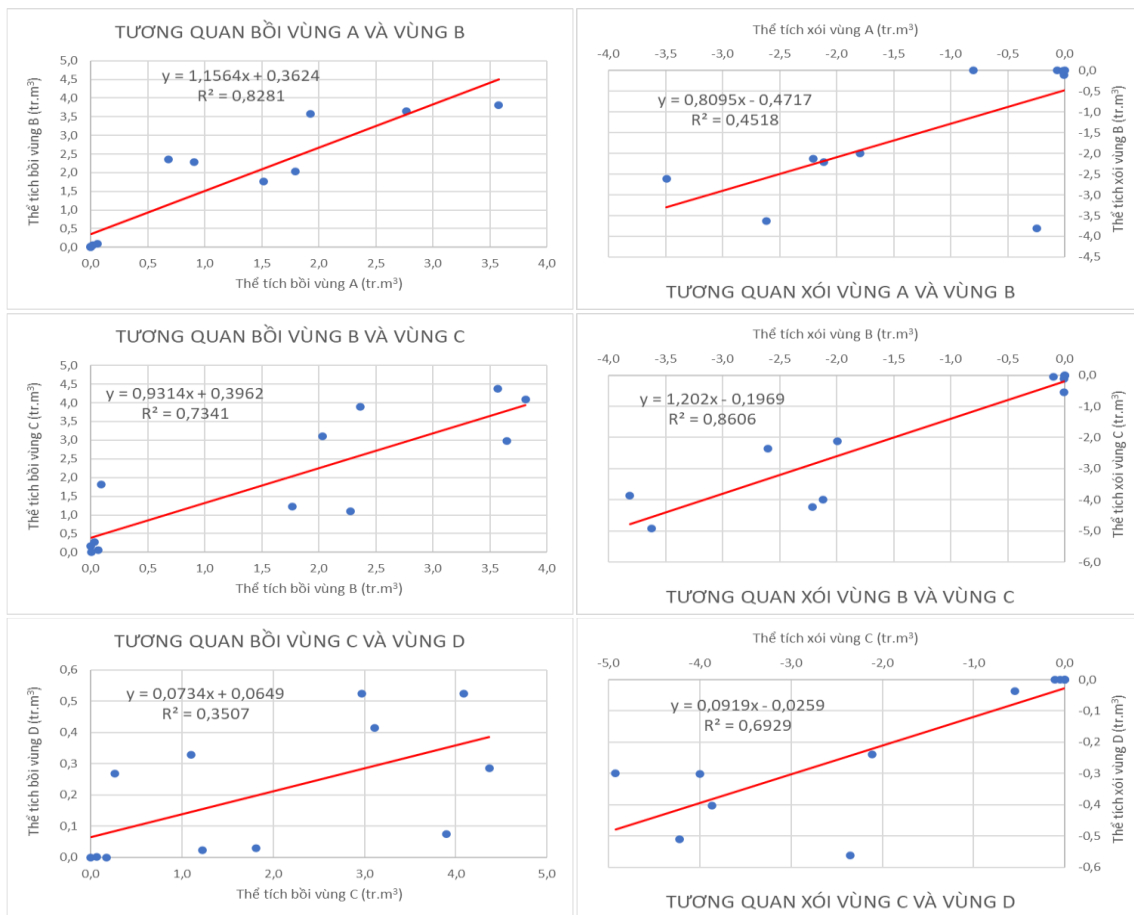
Phân tích biến động bồi/xói của toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu theo mùa cho thấy, vào mùa gió Tây Nam (mùa TN) xu thế chủ đạo của toàn vùng là bồi tụ với diện tích bồi trung bình mùa khoảng 217ha (chiếm 69% diện tích toàn vùng); diện tích xói trung bình mùa là 12,1 ha (chiếm 4%); Thể tích bồi trung bình mùa là 8,51 triệu m³ và thể tích xói trung bình mùa là 0,3 triệu m³.

Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc (mùa ĐB) diễn biến chủ yếu là xói với diện tích xói trung bình mùa là khoảng 200 ha (chiếm 63%); diện tích bồi trung bình mùa là 24,2 ha (chiếm 8%);

Thể tích xói trung bình mùa là -8,77 triệu m³; thể tích bồi trung bình mùa là 1,23 triệu m³.

3.2. Phân tích tương quan thể tích bồi/xói giữa các vùng theo mùa

Từ số liệu ở bảng 3, tương quan thể tích bồi, xói giữa các vùng A,B,C và D đã được xây dựng để đánh giá mối liên hệ về lượng bùn cát trao đổi, luân chuyển giữa các vùng (Hình 9). Với 6 cặp tương quan được xây dựng cho các nhóm vùng, thì chỉ có tương quan thể tích bồi giữa vùng A với vùng B, giữa vùng B với vùng C và tương quan thể tích xói giữa vùng B với vùng C là có hệ số tương quan khá tốt (trên 0,7). Các cặp tương quan còn lại đều có hệ số tương quan kém. Kết quả phân tích tương quan bồi/xói giữa các vùng cho thấy có mối liên hệ khá chặt chẽ của lượng bùn cát luân chuyển từ vùng A, tới vùng B và tới vùng C vào mùa gió Tây Nam (giai đoạn bồi tụ) và lượng bùn cát luân chuyển từ vùng B đến vùng C vào mùa gió Đông Bắc (giai đoạn xói lở). Trong đó, vùng B đóng vai trò là vùng đệm, trao đổi bùn cát giữa bãi biển phía bắc cửa Tiên Châu (vùng A) với vùng cồn Ba Dạt (cùng C) và ngược lại.



Hình 9. Tương quan thể tích bồi, xói giữa các vùng cửa Tiên Châu.

4. Kết luận và kiến nghị

Trong nghiên cứu này, tác giả đã đề xuất phương pháp giải đoán độ sâu địa hình đáy biển ven bờ từ dữ liệu viễn thám là ảnh Sentinel 2 và xây dựng thành công phương trình tương quan $y = 652,76x - 650,43$ với $R^2 = 0,7$ để giải đoán địa hình đáy biển ven bờ cho cửa Tiên Châu từ chỉ số độ sâu và dữ liệu thực đo.

Kết quả đánh giá biến động địa hình đáy biển ven bờ cửa Tiên Châu cho thấy trong giai đoạn từ năm 2016-2021 vào mùa gió Tây Nam địa hình có xu thế bồi là chủ yếu với diện tích bồi trung bình là 217ha, mùa gió Đông Bắc có xu thế xói là chủ yếu với diện tích xói trung bình là 200 ha.

Biến động thể tích bồi - xói trung bình năm của vùng B và vùng C, thời kỳ từ 2016 tới 2022 đều có giá trị dương, cho thấy vùng B và C luôn được bồi tụ theo thời gian. Trong đó

vùng C đóng vai trò là nơi tích tụ, lưu trữ và phân phối bùn cát cho toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu, còn vùng B là nơi chuyển tiếp bùn cát từ cồn Ba Dạt (vùng C) tới bãi biển phía bắc (vùng A) và ngược lại. So với vùng B và C, biến động bồi xói trung bình năm của vùng A và D không lớn. Điều này cho thấy diễn biến bồi xói trung bình năm ở 2 vùng này là khá cân bằng.

Kết quả phân tích tương quan bồi/xói giữa các vùng cho thấy có mối liên hệ khá chặt chẽ của lượng bùn cát luân chuyển từ vùng A, tới vùng B và tới vùng C vào mùa gió Tây Nam (giai đoạn bồi tụ) và lượng bùn cát luân chuyển từ vùng B đến vùng C vào mùa gió Đông Bắc (giai đoạn xói lở). Trong đó, vùng B đóng vai trò là vùng đệm, trao đổi bùn cát giữa bãi biển phía bắc cửa Tiên Châu (vùng A) với vùng cồn Ba Dạt (vùng C) và ngược lại.

Hạn chế của nghiên cứu là mới chỉ sử dụng phương pháp viễn thám để đánh giá bồi xói, phân tích biến động bồi xói mà chưa tính được tới được các yếu tố khác như chế độ dòng chảy, thủy triều. Nghiên cứu kiến nghị kết hợp cùng với phương pháp mô hình để có thể đánh giá chi tiết hơn, chính xác hơn cho các nghiên cứu sau này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.X.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.T., D.X.T.; Xử lý số liệu: T.D.H.; Xây dựng bản đồ: T.D.H.; Phân tích kết quả: D.X.T., T.T.T.; Viết bản thảo bài báo: D.X.T., T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.T.T., T.D.H.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Cesbron, G.; Melet, A.; Almar, L. Pan-European satellite-derived coastal bathymetry—review, user needs and future services. *Front. Mar. Sci.* **2021**, *8*, 1591.
2. Jagalingam, P.; Akshaya, B.J.; Hegde, A.V. Bathymetry mapping using Landsat 8 satellite imagery. *Procedia Eng.* **2015**, *116*, 560–566.
3. Gonçalves, G.; Santos, S.J. Monitoring local shoreline changes by integrating UASs, Airborne LiDAR, historical images and orthophotos. Proceedings of the 5th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management GISTAM, Crete, Greece, 3–5 May 2019.
4. Benveniste, J.; Cazenave, A.; Vignudelli, S.; Fenoglio-Marc, L.; Shah, R.; Almar, R.; Andersen, O.; Birol, F.; Bonnefond, P.; Bouffard, J.; Calafat, F.; Cardellach, E.; Cipollini, P.; Le Cozannet, G.; Dufau, C.; Fernandes, M.J.; Frappart, F.; Garrison, J.; Gommenginger, C.; Han, G.; Høyer, J.L.; Kourafalou, V.; Leuliette, E.; Li, Z.; Loisel, H.; Madsen, K.S.; Marcos, M.; Melet, A.; Meyssignac, B.; Pascual, A.; Passaro, M.; Ribó, S.; Scharroo, R.; Song, Y.T.; Speich, S.; Wilkin, J.; Woodworth, P.; Wöppelmann, G. Requirements for a coastal hazards observing system. *Front. Mar. Sci.* **2019**, *6*, 348. Doi: 10.3389/fmars.2019.00348.
5. Holman, R.; Plant, N.; Holland, T. cBathy: A robust algorithm for estimating nearshore bathymetry. *J. Geophys. Res. Oceans* **2013**, *118*, 2595–2609.
6. Almar, R.; Bonneton, P.D. Wave celerity from video imaging: A new method. Coastal Engineering 2008: (In 5 Volumes), World Scientific: Hackensack, NJ, USA, 2009, pp. 661–673.
7. Bergsma, E.W.J.; Almar, R.; de Almeida, L.P.M.; Sall, M. On the operational use of UAVs for video-derived bathymetry. *Coast. Eng.* **2019**, *152*, 103527.
8. Melet, C.; Conversi, A.; Benveniste, J.; Almar, R. Earth observations for monitoring marine coastal hazards and their drivers. *Surv. Geophys.* **2020**, *41*, 1489–1534.

9. Drusch, M.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P.; et al. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sens. Environ.* **2012**, *120*, 25–36.
10. Bergsma, R. Coastal coverage of ESA' Sentinel 2 mission. *Adv. Space Res.* **2020**, *65*, 2636–2644.
11. Liu, Y.J. Quantification of shallow water quality parameters by means of remote sensing. *Prog. Phys. Geogr.* **2003**, *27*, 24–43.
12. Erena, M.; Domínguez, F.; Soria, J.; García-Galiano, S. Monitoring coastal lagoon water quality through remote sensing: The Mar Menor as a case study. *Water* **2019**, *11*, 1468.
13. Brando, V.; Dekk, A. Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2003**, *41*, 1378–1387.
14. Lyzenga, D.R. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Appl. Opt.* **1978**, *17*, 379–383.
15. Caballero, I.; Stumpf, R. Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2019**, *226*, 106277.
16. Sagawa, T.; Yamanokuchi, T. Satellite derived bathymetry using machine learning and multi-temporal satellite images. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 1155.
17. Evagorou, K.; Hadjimitsis, D. Bathymetric maps from multi-temporal analysis of Sentinel-2 data: The case study of Limassol, Cyprus. *Adv. Geosci.* **2019**, *45*, 397–407.
18. Giardino, C.; Candiani, G.; Bresciani, M.; Lee, Z.; Gagliano, S.; Pepe, M. BOMBER: A tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images. *Comput. Geosci.* **2012**, *45*, 313–318.
19. Legleiter, C.J.; Roberts, D.A.; Lawrence, R.L. Spectrally based remote sensing of river bathymetry. *Earth Surf. Process. Landforms* **2009**, *34*, 1039–1059.
20. Almar, R.; Baba, M.W.; Cesbron, G.; Daly, C.; Garlan, T.; Lifermann, A. global satellite-based coastal bathymetry from waves. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 4628.
21. Pacheco, A.; Horta, J.; Loureiro, C.; Ferreira, Ó. Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *159*, 102–116.
22. Bergsma, A.; Binet, R.; Brodie, K.L.; Bak, A.S. Coastal morphology from space: A showcase of monitoring the topography-bathymetry continuum. *Remote Sens. Environ.* **2021**, *261*, 112469.
23. Traganos, B.; Chrysoulakis, N.; Reinartz, P. Estimating satellite-derived bathymetry (SDB) with the Google Earth Engine and Sentinel-2. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 859.
24. Chénier, R.; Ahola, R. Satellite-derived bathymetry for improving Canadian hydrographic service charts. *Int. J. Geo-Inf.* **2018**, *7*, 306.
25. Tùng, T.T.; Hùng, T.Đ. Nghiên cứu ứng dụng ảnh Sentinel 2 đánh giá diễn biến đường bờ và biến đổi địa hình đáy biển khu vực cửa Nhật Lệ, Quảng Bình. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, *746*, 1–11.
26. Hedley, J.D.; Harborne, A.R.; Mumby, P.J. Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *Int. J. Remote Sens.* **2005**, *26(10)*, 2107–2112.
27. Stumpf, R.P.; Holderied, K.; Sinclair, M. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol. Oceanogr.* **2003**, *48*, 547–556.

An analysis of nearshore bathymetric changes in the Tien Chau estuary area, Phu Yen province, using Sentinel-2 images

Do Xuan Tinh^{1*}, Tran Thanh Tung², Tran Dang Hung³

¹ Institute of Training and Science Application; tinhdx@tlu.edu.vn

² Thuy Loi University; t.t.tung@tlu.edu.vn

³ Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology & Climate Change; danghung2261991@gmail.com

Abstract: Monitoring and observing of nearshore bathymetric changes in the estuary area are important step for analyzing and evaluating the patterns of morphological changes in river mouth areas. Traditional bathymetric surveys using sonar techniques are often costly and time-consuming. Recently, multispectral satellite image with the advantage of cost and wide range of coverage has been used more frequently for estimating depths in nearshore areas due to the increasing availability of high-resolution satellite imagery. In this study, the authors utilized multispectral satellite images from Sentinel-2 and bathymetry data survey in June 2019 to develop a correlation equation of depth indices for the Tien Chau estuary area in Phu Yen province. The equation has good correlation with coefficient $R^2 = 0.7$ and has been applied to interpret the nearshore bathymetry in the Tien Chau estuary from 2016 to 2022. The interpreting nearshore bathymetries have been used to analyze the patterns of sandbars and submerged ebb-tidal delta in the Tien Chau area during the NorthEast monsoon and SouthWest monsoon. This analysis serves as a basis for proposing training measures for the estuary in the future.

Keywords: Tien Chau estuary; Nearshore bathymetry; Morphological changes; Multispectral satellite images; Sentinel-2.